

## АЛГОРИТМІЗАЦІЯ РОЗРАХУНКУ БІОЛОГІЧНОГО ОЧИЩЕННЯ СТІЧНИХ ВОД В АЕРОТЕНКАХ

Бойко Т. В., Жежерун Я. В.

## АЛГОРИТМИЗАЦИЯ РАСЧЕТА БИОЛОГИЧЕСКОЙ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД В АЕРОТЕНКАХ

Бойко Т. В., Жежерун Я. В.

## ALGORITHMIZATION OF CALCULATION OF BLOOD-STAGE WATER TREATMENT IN AEROTENSES

Boiko T., Zhezherun Y.

Національний технічний університет України  
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»  
м. Київ, Україна  
[kxtp@kpi.ua](mailto:kxtp@kpi.ua)

*Розглянуто процедуру проектування аеротенків із системою аерації. Отримані апроксимаційні залежності для таблично представлених даних дозволили алгоритмізувати розрахунок аеротенків, що підвищує ефективність проектування та надійність отриманих результатів.*

**Ключові слова:** алгоритмізація, аеротенк, апроксимація

*Рассмотрена процедура проектирования аэротенков с системой аэрации. Полученные аппроксимационные зависимости для таблично представленных данных позволили алгоритмизировать расчет аэротенков, что повышает эффективность проектирования и надежность полученных результатов.*

**Ключевые слова:** алгоритмизация, аэротенк, аппроксимация

*The procedure of designing aerotanks with aeration system is considered. The obtained approximation dependences for tabulated data allowed to algorithmize the calculation of aerotanks, which increases the efficiency of design and reliability of the results.*

**Keywords:** algorithmization, aerotank, approximation

### ВСТУП

Системи біохімічного очищення достатньо поширені і фактично дозволяють розв'язувати актуальну задачу ефективного очищення стічних вод. У теперішній час багато інженерних задач щодо технологічних схем очищення стічних вод методами біологічного очищення розв'язані, але проблеми визначення параметрів функціонування обладнання у найефективніших умовах у кожному окремому випадку є завжди актуальними. Сьогодні ці проблеми без використання системного аналізу, математичного моделювання і комп'ютерних експериментів розв'язувати недоцільно і неефективно. Алгоритмізація процедури проектування дозволяє значно підвищити її ефективність та підвищити надійність отриманих результатів.

## ПОСТАНОВКИ ЗАДАЧІ

Системи біологічного очищення на основі аеробного окислювання одержали широке поширення як при очищенні міських так і виробничих стічних вод. Стічні води надходять в аеротенк, як правило, після споруджень механічного очищення. Концентрація зважених речовин у них не повинна перевищувати 150 мг/л [1]. При очищенні суміші виробничих і побутових стічних вод повинні дотримуватися вимоги по активній реакції середовища, температурі, сольовому складу, наявності шкідливих домішок, масел, утриманню біогенних елементів і т. ін. Для забезпечення нормального перебігу процесу біологічного окислювання в аеротенк необхідно безупинно подавати повітря, що досягається за допомогою пневматичних, механічних і пневмомеханічних систем аерації.

## АНАЛІЗ ДОСЛІДЖЕНЬ

Особливості класичної схеми очищення стічних вод в аеротенках виявлялися й вивчалися в процесі розвитку техніки біологічного очищення стічних вод, теоретичних і експериментальних досліджень, у практиці використання цієї схеми в реальних умовах роботи очисних споруджень. Задача технологічного розрахунку аеротенків – визначення основних параметрів системи: тривалість аерації, витрата повітря і приріст активного мулу, за якими встановлюються розміри, конструкції й устаткування споруджень. Регенератори активного мулу слід застосовувати при БПК повн. води, що надходить, більш 150 мг/л, а час аерації в усіх випадках не повинен бути менше двох годин. Проектування аеротенків здійснюється за покладені СНіП 2.04.23-85 та методикою, яка наведена у [1,2]. Слід зазначити, що для визначення проєктованих показників системи аерації аеротенків зазвичай використовується значна кількість табличних даних. З метою алгоритмізації проведена апроксимація табличних даних і отримані наступні залежності, які включені в нижче представлений алгоритм розрахунку:

Питома витрата повітря визначається по формулі:

$$D = \frac{z(L_a - L_t)}{K_1 K_2 n_1 n_2 (c_p - c)}, \quad (1)$$

де  $D$  - питома витрата повітря,  $\text{м}^3/\text{м}^3$ ;

$z$  – питома витрата кисню в мг на мг зафіксованої БСК<sub>повн</sub> приймається:

- для повної очистки – 1,1 мг/мг;
- для неповної очистки – 0,9 мг/мг;

$K_1$  – коефіцієнт, що враховує тип аератора, приймається: для дрібно пухирчастих аераторів залежно від відношення площі аеруємої зони ( $f$ ) до площі аеротенка ( $F$ ):

$$f_1 = f/F, \quad (2)$$

і розраховується за формулою (3):

$$K_1 = 1,572 - 7,391 \cdot f_1 + 81,676 \cdot f_1^2 - 270,689 \cdot f_1^3, \quad (3)$$

з відносною похибкою апроксимації 1,12 %. Для середньо пухирчастих аераторів, а також систем з низьконапірною аерацією  $K_1 = 0,75$ ;

$K_2$  – коефіцієнт, що залежить від глибини занурення аератора  $h_a$  і визначається за формулою (4):

$$K_2 = 3,416 \cdot h_a - 0,905 - 2,21 \cdot h_a^2 + 0,811 \cdot h_a^3 - 0,101 \cdot h_a^4, \quad (4)$$

з відносною похибкою апроксимації 3,8 %;

$n_1$  – коефіцієнт, що враховує температуру стічних вод:

$$n_1 = 1 + 0,02(t_{CP} - 20), \quad (5)$$

де  $t_{CP}$  – середньомісячна температура стічної води за літній період, °C;

$n_2$  – коефіцієнт, що враховує відхилення швидкості переносу кисню в муловій суміші до швидкості переносу його в чистій воді, приймається: для побутових стічних вод  $n_2 = 0,85$ ; для виробничих стічних вод – за дослідними даними, при їхній відсутності допускається приймати  $n_2 = 0,7$ ;

$c_P$  – розчинність кисню повітря у воді, мг/л, визначається за формулою (6):

$$c_P = c_m \left[ 1 + \frac{h_a}{20,6} \right], \quad (6)$$

$c_m$  – розчинність кисню повітря у воді залежно від температури й тиску та розраховується за залежністю (7):

$$c_m = 17,177 - 1,552 \cdot t_m + 0,196 \cdot t_m^2 + 0,0148 \cdot t_m^3, \quad (7)$$

з відносною похибкою апроксимації 2,1 %;

$c$  – середня концентрація  $O_2$  в аеротенку, мг/л.

За знайденими значеннями  $D$  і  $t$  визначається інтенсивність аерації (8):

$$I = \frac{D \cdot H}{t}, \quad (8)$$

де  $I$  – інтенсивність аерації,  $m^3/m^2$ ;  $H$  – робоча глибина аеротенку, м.

Якщо для прийнятого  $K_1$  розрахована інтенсивність аерації більше максимальної ( $I_{max}$ ), яка визначається за виразом (9):

$$I_{max} = 100,000 \cdot f_1 - 0,00000553, \quad (9)$$

з відносною похибкою 0,00002 %, то необхідно збільшити площу аеруємої зони.

Якщо для прийнятого  $K_1$  розрахована інтенсивність аерації менше мінімальної ( $I_{min}$ ), що розраховується за залежністю (10):

$$I_{min} = 83,824 - 84,744 \cdot h_a + 27,941 \cdot h_a^2 - 3,297 \cdot h_a^3, \quad (10)$$

з відносною похибкою 3,67 %, то слід збільшити витрату повітря.

При проектуванні аеротенків з регенераторами важливим показником є степінь рециркуляції активного мулу  $R$ , значення якого залежить як від концентрації мулу в аеротенку, так і від ілового індексу.

Отримані апроксимуючі залежності мулового індексу від навантаження на площину для різних типів стічних вод по даним [1] наведені у таблиці 1.

Слід зазначити, що апроксимуючі залежності отримані в інтервалі змінення навантаження на мул від 100 до 600 мг/(г доб).

Таблиця 1. Результати апроксимації залежності мулового індексу від навантаження на мул

<i>Вид стічних вод</i>	<i>Апроксимуючий поліном для визначення мулового індексу (<math>I</math>, см<sup>3</sup>/год.) в залежності від навантаження на мул (<math>q_1</math>, мг/(г доб))</i>	<i>Відносна похибка, %</i>
Міські	$I = 9,360 \cdot q_1 - 295,089 - 0,0713 \cdot q_1^2 + 0,000235 \cdot q_1^3$	3,87%
Нафтопереробних заводів	$I = 546,125 - 3,606 \cdot q_1 + 0,00876 \cdot q_1^2$	2,17%
Комбінатів синтетичного каучуку	$I = 1425,327 - 13,992 \cdot q_1 + 0,0512 \cdot q_1^2$	3,14%
Комбінатів штучного волокна	$I = 3343,192 - 33,747 \cdot q_1 + 0,131 \cdot q_1^2$	1,73%
Целюлозно-паперових комбінатів	$I = 1350,726 - 11,450 \cdot q_1 + 0,0391 \cdot q_1^2$	2,33%

Представлений алгоритм реалізований у програмному модулі для багатоваріантного проектування систем очищення стічних вод в аеротенках.

## ВИСНОВКИ

З метою розробки обчислювального модуля для автоматизації проектування аеротенків в системах біологічного очищення стічних вод запропоновано провести алгоритмізацію із застосуванням апроксимації табличних даних щодо системи аерації. Зокрема отримані залежності щодо визначення: коефіцієнту, який враховує тип аератора залежно від відношення площі аеруємої зони до площі аеротенка; коефіцієнту, що залежить від глибини занурення аератора; максимальної та мінімальної інтенсивності аерації; мулового індексу від навантаження на мул. Відносні похибки апроксимації є прийнятними.

## ЛІТЕРАТУРА

1. Биологическая очистка производственных сточных вод: Процессы, аппараты и сооружения. / Яковлев С. В. и др. М.: Стройиздат, 1985. 208 с.
2. Долина Л. Ф. Очистка сточных вод от биогенных элементов: монография. Днепропетровск: Континент, 2001. 198 с.